Sariqamish ko`lida yashovchi qushlardan biri flamingolar. **Flamingolar** (9-rasm) och kulrang bo'lib tug'iladi. Ular yoshi ulg'aygan sari o'zlarining mashhur yorqin pushti yoki qizil rangiga kiradilar. Buning sababi qushlar tanovul qiladigan mollyuskalardagi karotin deb nomlangan maxsus pigmentlar bilan bog'liq. Qizilg‘oz (Flamingo) ko'chmanchi va uyalovchi qush bo'lib, O’zbekiston Respublikasi Qizil kitobiga va Tabiatni Muhofaza Qilish Xalqaro ittifoqi (IUCN) Qizil ro'yxatiga zaif, kamayib borayotgan tur sifatida kiritilgan. Bu qushlar botqoqli qirg'oqlari bo'lgan katta tekis, sayoz sho'r ko'llarni afzal ko'radi.

Xulosa. Qoraqalpog`iston Respublikasining tabiatni muhofaza qilishga bog`liq bo`lgan jaroyonlarni o`rganish va tahlil qilish bilan bir qatorda o`simlik va hayvonot dunyosiga ta`sir qiluvchi omilarni aniqlab, ularning yashash muhit darajasini me`yorlashtirish hamda hududning ekologik muammolarini aniqlash masalalariga jiddiy yondashish bo‘yicha ilmiy tadqiqot ishlarini olib borishni izchil davom ettirish. Shu nuqtai nazardan Orolning qurigan qismida va unga tutash hududlarda fauna va florani saqlab qolish yo`llarini ko`paytirish zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. A.A. Rafikov. Geoekologik muammolar T.,O‘QITUVChI. 1997
2. T.A.Alimov.,A.A.Rafikov. Ekologik xatolik saboqlari. Toshkent.1991.
3. P.S.Sultonov. Ekologiya va atrof-muhitni muhofaza qilish asoslari. Darslik. Toshkent. 2017
4. Биолого-экологические особенности кормовых растений Каракалпакского Устюрта. А. Алланиязов, К. Койбагаров. Ташкент, «Фан» УзССР. 1980, с.-71.]

URBANIZATSIYALASHGAN HUDUDLARDA TABIIY VENTILYATSIYA SAMARADORLIGINI BAHOLASHNING INDIKATORLAR TIZIMI

Fattoxov Ne’matullox Abdulxakim o‘g‘li
Farg‘ona davlat universiteti, Tayanch doktoranti
Muxtorova Fotimaxon Ilhomjon qizi
Farg‘onda davlat universiteti geografiya yo‘nalishi talabasi

Annotatsiya: *Mazkur maqolada urbanizatsiyalashgan hududlarda tabiiy ventilyatsiya samaradorligini miqdoriy va sifat jihatdan baholashning nazariy-metodologik asoslari tahlil qilinadi. Tabiiy ventilyatsiya shahar atmosferasida havoning tabiiy almashinuvi, ifloslantiruvchi moddalarni tarqatish, issiqlikni chiqarish va mikroiqlim sharoitlarini barqarorlashtirish bilan bog‘liq murakkab geofizik-aerodinamik jarayon sifatida qaraladi. Maqolada havo almashinish koeffitsienti (ACH), shamol tezligi koeffitsienti (WVR) va havoning o‘rtacha “yoshi” (MAA) asosiy indikatorlar sifatida tizimlashtirilib, ularning hisoblash formulalari, mazmuni va baholash mezonlari yoritiladi. Shuningdek, tabiiy ventilyatsiya samaradorligiga ta’sir etuvchi shahar morfologik ko‘rsatkichlari - frontal maydon zichligi (λf), plan maydoni zichligi (λp), bino balandligi va ko‘cha kengligi nisbati (H/W), aerodinamik g‘adir-budurlik uzunligi (z_0) - bilan ventilyatsion indikatorlarning o‘zaro bog‘liqligi ochib beriladi. GIS, CFD, shamol tunneli va IoT monitoringi kabi usullarni indikatorlar tizimi bilan integratsiyalash tabiiy ventilyatsiyaning hududiy farqlarini aniqlash imkonini beradi. Taklif etilayotgan yondashuv Farg‘ona va Marg‘ilon shaharlari sharoitida ventilyatsiya salohiyatini baholash, shamol koridorlarini ajratish va urbanistik rejalashtirish qarorlarini ilmiy asoslash uchun metodik baza sifatida qaraladi.*

Kalit so‘zlar: *urbanizatsiya, tabiiy ventilyatsiya, havo almashinuvi, ACH, WVR, MAA, shahar morfologiyasi, shamol koridori, ventilyatsiya salohiyati, GIS, CFD, Farg‘ona, Marg‘ilon.*

Kirish. Urbanizatsiya jarayonining jadallashuvi shahar hududlarida atmosfera va yer yuzasi o‘rtasidagi o‘zaro ta’sirni kuchaytirmoqda. Shaharlarning kengayishi, aholi zichligining ortishi, transport va qurilish faoliyatining ko‘payishi natijasida tabiiy havo almashinuvi uchun mavjud ochiq makonlar qisqarishi mumkin. Bunday sharoitda atmosfera ifloslantiruvchilarining tarqalishi faqat emissiya miqdoriga emas, balki shaharning

aerodinamik va termik xususiyatlariga ham bog‘liq bo‘ladi. Shuning uchun shahar ekologik holatini baholashda tabiiy ventilyatsiyani alohida jarayon sifatida o‘rganish muhimdir [1, 9, 10].

Tabiiy ventilyatsiya shahar muhitida shamol bosimi va temperaturaviy gradient ta’sirida yuzaga keladigan havo harakati bilan belgilanadi. Bernulli tenglamasi, davomiylik qonuni va termodinamik qonuniyatlar ushbu jarayonning fizik asoslarini tushuntirishga xizmat qiladi. Shahar morfologiyasi esa mavjud shamol oqimining yo‘nalishi, tezligi, turbulentligining shakllanishi va ko‘cha kanyonlarida havo almashinuviga bevosita ta’sir ko‘rsatadi [11–14].

Urban ventilyatsiyani baholashda faqat bitta ko‘rsatkichdan foydalanish shahar atmosferasining murakkabligini to‘liq ifodalamaydi. Masalan, shamol tezligining yuqoriligi havoning yaxshi almashinuvi uchun muhim bo‘lsa-da, uning yo‘nalishi, davomiyligi, bino konfiguratsiyasi va ifloslantiruvchi manbalarning joylashuvi ham hisobga olinishi kerak. Shu sababli bir-birini to‘ldiruvchi indikatorlar tizimini shakllantirish metodik jihatdan maqsadga muvofiqdir [15–18].

Adabiyotlar tahlili va metodologiya. Maqolada tizimli tahlil, qiyosiy tahlil, matematik hisoblash, shahar morfometriyasi, GIS-tahlil va aerodinamik modellashtirishga asoslangan yondashuvlardan foydalanildi. Metodik asos sifatida tabiiy ventilyatsiya bo‘yicha ilmiy adabiyotlarda keltirilgan ACH, WVR va MAA indikatorlari hamda urban morfologiyaning λf, λp, H/W va z_0 parametrlaridan foydalanish ko‘zda tutiladi [15–24].

Tadqiqotda indikatorlarni uch pog‘onada ko‘rib chiqish taklif etiladi. Birinchi pog‘ona - fizik havo almashinuvi: ACH. Ikkinchi pog‘ona - tashqi shamol oqimining lokal sharoitga nisbati: WVR. Uchinchi pog‘ona - havoning hududda qolish vaqtini tavsiflovchi MAA. Mazkur ko‘rsatkichlar urban morfologik parametrlar bilan birgalikda tahlil qilinganda ventilyatsiya samaradorligining hududiy manzarasi yanada to‘liq shakllanadi.

Tabiiy ventilyatsiya - shahar hududida mexanik ventilyatsiya vositalarisiz, tabiiy bosim farqlari va termik gradientlar ta’sirida havo massasining almashinuvi jarayonidir. Shahar miqyosida bu jarayon faqat bino ichidagi havo almashinuvi bilan cheklanmaydi. U ko‘cha kanyonlari, ochiq maydonlar, yashil hududlar, suv obyektlari va shamol koridorlari orqali atmosfera massasining harakatlanishini ham qamrab oladi [11, 12].

Air Change Rate (ACH) ma’lum hajmdagi havoning bir soat ichida necha marta yangilanishini ifodalovchi ko‘rsatkichdir. Maqolada foydalanilayotgan hisoblash ifodasi quyidagicha: $ACH = Q \times 3600 / V$. Bu yerda Q - havo oqimining hajmiy sarfi, m^3/s; V - tahlil qilinayotgan hajm, m^3; 3600 - soniyani soatga o‘tkazish koeffitsienti [15].

ACH ning asosiy afzalligi - uning hisoblash jihatdan sodda ekanligidir. Agar ma’lum ko‘cha kesimi yoki nazorat hajmi orqali o‘tadigan havo oqimi Q aniqlansa, hajm V ma’lum bo‘lgan holda ventilyatsiya darajasini tez baholash mumkin. Shu bilan birga, ACH ko‘rsatkichi ko‘proq bino yoki aniq nazorat hajmi uchun qulay; ochiq shahar makonida esa hisoblash hajmi va chegaralarini aniq belgilash zarur.

Wind Velocity Ratio (WVR) shahar muhitidagi ma’lum bir nuqtada, odatda piyoda darajasida o‘lchangan shamol tezligining ochiq yoki referens nuqtadagi shamol tezligiga nisbatini ifodalaydi: $WVR = U_{pedestrian} / U_{reference}$. Bu yerda $U_{pedestrian}$ - lokal nuqtadagi shamol tezligi, $U_{reference}$ - referens balandlik yoki ochiq hududdagi shamol tezligi [17].

WVRni GIS bilan bog‘lash orqali shaharning alohida nuqtalarida o‘lchangan yoki modellashtirilgan qiymatlar interpolatsiya qilinib, ventilyatsiya salohiyati xaritasi tuzilishi mumkin. Natijada yuqori WVR qiymatlariga ega ochiq hududlar, o‘rtacha qiymatli tranzit zonalar va past qiymatli shamol soyasi zonalari ajratiladi.

Mean Age of Air (MAA) havoning ma’lum bir nuqtaga kelib tushguniga qadar qancha vaqt davomida harakatlanganini ifodalovchi ko‘rsatkichdir. Maqolada foydalaniladigan soddalashtirilgan hisoblash ifodasi: $MAA = (t_1 + t_2 + \ldots + t_n) / n$. Bu yerda t_i - havoning turli holatlarda yoki oqim yo‘nalishlarida yetib kelish vaqti, n - kuzatuvlar soni [18].

MAA WVRdan farqli ravishda faqat tezlikni emas, havoning hududda qancha vaqt “qarib” qolishini ifodalaydi. Shu sababli u turg‘unlik zonalarini aniqlash uchun muhimdir. Past MAA qiymatlari havoning tezroq yangilanayotganini, yuqori qiymatlar esa havo almashinuvi sekinlashganini ko‘rsatadi. Dissertatsiyada 1–2 daqiqa yangi havo, 10 daqiqa va undan ortiq qiymatlar esa stagnatsion sharoit sifatida talqin qilingan [18].

Tabiiy ventilyatsiyani faqat meteorologik ko‘rsatkichlar orqali baholash yetarli emas. Shahar qurilish shakli shamol oqimining kirishi, tezlanishi, burilishi va so‘nishini belgilaydi. Shu sababli indikatorlar tizimiga shahar morfologiyasi parametrlarini kiritish taklif etiladi [19–24].

Frontal maydon zichligi λf binolarning shamolga qaragan vertikal yuzalari yig‘indisining tahlil uchastkasi yuzasiga nisbatidir. λf oshishi bilan shamol oqimining aerodinamik to‘siqlanishi kuchayadi. Dissertatsiyada $\lambda f < 0,1$ ochiq landshaft, 0,1–0,3 kam zichlik, 0,3 dan yuqori qiymatlar esa yuqori zichlik sifatida berilgan.

Plan maydoni zichligi λp binolar gorizontal proyeksiyalari yuzasining tahlil maydoniga nisbatini bildiradi. Tadqiqot manbasida 0,3–0,4 oralig‘i nisbatan maqbul, $\lambda p > 0,5$ esa havo almashinuvi sezilarli zaiflashadigan sharoit sifatida ko‘rsatilgan [19, 23]. Ushbu ko‘rsatkich GIS yordamida bino konturlari va tahlil kataklari asosida oson hisoblanishi mumkin.

H/W - bino balandligining ko‘cha kengligiga nisbati. Bu ko‘rsatkich ko‘cha kanyonidagi oqim rejimini aniqlashda asosiy morfologik parametr hisoblanadi. H/W qiymatining o‘zgarishi oqimning ochiq, skimming yoki recirculation xususiyatlariga ta’sir qiladi. Dissertatsiyada $H/W < 0,3$; 0,3–0,65; $H/W > 0,65$ kabi uchta rejim ajratilgan va $H/W \approx 0,5$ atrofida nisbatan qulay rejim qayd etilgan [24].

Aerodinamik g‘adir-budurlik uzunligi z_0 shahar yuzasining shamol oqimiga ko‘rsatadigan qarshiligini ifodalaydi. Grimmond va Oke shahar hududlarining aerodinamik xususiyatlarini sirt shakli asosida baholash imkonini bergan [19]. z_0 ning kattalashishi chegara qatlamidagi shamol tezligining pasayishi va turbulent almashinuvning o‘zgarishi bilan bog‘liq.

ACH, WVR va MAA alohida-alohida turli jihatlarni ifodalaydi. ACH havo hajmining yangilanish tezligini, WVR tashqi shamol oqimining lokal muhitda qanchalik saqlanishini, MAA esa havoning yangilanish vaqtini ko‘rsatadi. Shuning uchun ularni birgalikda qo‘llash ventilyatsiya samaradorligini bir indikatorga qaraganda to‘liqroq tavsiflaydi.

Masalan, WVR yuqori bo‘lib, MAA ham yuqori bo‘lsa, hududda ayrim tez oqimlar mavjud bo‘lishiga qaramay, boshqa qismlarda turg‘un zonalar saqlanayotgan bo‘lishi mumkin. Aksincha, WVR o‘rtacha, MAA past bo‘lsa, shamol tezligi katta bo‘lmagan sharoitda ham havo almashinuvi yetarli bo‘lishi ehtimoli mavjud. Demak, indikatorlar

o‘rtasidagi qarama-qarshi qiymatlar urban muhitning murakkab aerodinamik tuzilishini aniqlash uchun foydali diagnostik signal hisoblanadi.

Amaliy tadqiqot uchun uch bosqichli baholash sxemasi taklif qilinadi: birinchi bosqichda har bir indikator alohida standartlashtiriladi; ikkinchi bosqichda morfologik parametrlar bilan fazoviy bog‘lanishi aniqlanadi; uchinchi bosqichda GIS asosida kompleks ventilyatsiya salohiyati xaritasi tuziladi. Agar keyingi bosqichda integrallashgan indeks zarur bo‘lsa, indikatorlarni vaznlash AHP yoki boshqa ko‘p mezonli baholash usullari yordamida amalga oshirilishi mumkin. Biroq vaznlar empirik ma’lumotlar bilan asoslanishi lozim.

1-jadval.

Kompleks baholashning taklif etilayotgan mantiqiy sxemasi

Bosqich	Ko‘rsatkichlar	Asosiy savol	Natija
1. Fizik baholash	ACH, WVR, MAA	Havo qanchalik tez va samarali almashmoqda?	Lokal ventilyatsiya holati
2. Morfologik baholash	λf, λp, H/W, z_0	Shahar tuzilishi oqimga qanday ta’sir qilmoqda?	Aerodinamik to‘siqlik va ochiqlik
3. Hududiy baholash	GIS, shamol yo‘nalishi, koridorlar	Qaysi hududlar ventilyatsiya uchun muhim?	Ventilyatsiya zonalari xaritasi
4. Modellashtirish	CFD/shamol tunneli	Qurilish ssenariysi oqimni qanday o‘zgartiradi?	Oldin-keyin aerodinamik taqqoslash

GIS tabiiy ventilyatsiyani hududiy baholash uchun muhim platforma bo‘lib, bino konturlari, balandliklari, ko‘cha tarmoqlari, yashil hududlar, suv obyektlari, relyef va meteorologik ma’lumotlarni yagona fazoviy tizimda birlashtirish imkonini beradi. Ren, Ng va Katzschner urban iqlim xaritalarini ishlab chiqishda GIS yondashuvining ahamiyatini ko‘rsatgan [26]. Farg‘ona va Marg‘ilon uchun GIS asosida shamol yo‘nalishlari, WVR, qurilish zichligi va yashil koridorlarni birlashtirgan ventilyatsiya salohiyati xaritasini yaratish mumkin.

Farg‘ona va Marg‘ilon shaharlari uchun indikatorlar tizimini qo‘llashda avvalo shaharning tabiiy-geografik va urbanistik xususiyatlarini hisobga olish zarur. Vodiyning orografik tuzilishi, shamol rejimining mavsumiy o‘zgarishi va temperaturaviy inversiya ehtimoli tabiiy ventilyatsiyaning hududiy farqlarini yuzaga keltirishi mumkin. Shu sababli meteorologik kuzatuvlar kamida mavsumlar kesimida tahlil qilinishi maqsadga muvofiq.

Birinchi amaliy bosqichda hukmron shamol yo‘nalishlari va tezliklari asosida asosiy shamol oqimlari aniqlanadi. Ikkinchi bosqichda shaharning raqamli bino modeli tuziladi va λf, λp hamda H/W qiymatlari hisoblanadi. Uchinchi bosqichda WVR qiymatlari dala o‘lchovlari yoki CFD yordamida aniqlanadi. To‘rtinchi bosqichda MAA orqali havo turg‘unlashadigan hududlar belgilanadi. Beshinchi bosqichda barcha qatlamlar GIS muhitida birlashtirilib, ventilyatsiya salohiyati zonalashtiriladi.

Yashil infratuzilmaning roli ham kompleks baholashda alohida ko‘rib chiqilishi kerak. Yashil hududlar bir tomondan bug‘latish orqali haroratni pasaytirishi va termik sharoitni yumshatishi, ikkinchi tomondan esa daraxtzorlarning aerodinamik qarshiligi sababli shamol tezligini kamaytirishi mumkin. Shu sababli “yashil hudud qancha ko‘p bo‘lsa, ventilyatsiya shuncha yaxshi” degan oddiy xulosadan ko‘ra, yashil hududning joylashuvi, o‘lchami, zichligi va shamol koridoriga nisbatan orientatsiyasini hisobga olish maqsadga muvofiq [32, 33].

Taklif etilayotgan tizimning birinchi afzalligi - turli ma’lumot manbalarini yagona metodik sxemaga birlashtirishidir. ACH fizik havo almashinuvini, WVR shamol tezligining lokal o‘zgarishini, MAA esa havoning yangilanish vaqtini ifodalaydi. λf, λp va H/W kabi morfologik ko‘rsatkichlar esa ushbu natijalarning sabablarini tushuntirishga yordam beradi.

Ikkinchi afzallik - ko‘rsatkichlarning hisoblash jihatdan nisbatan sodda bo‘lishidir. WVRni oddiy tezlik o‘lchovlari bilan, λp ni GISdagi bino maydonlari bilan, H/W ni bino balandligi va ko‘cha kengligi orqali aniqlash mumkin. Bu Farg‘ona va Marg‘ilon kabi hududlarda katta hajmdagi dala o‘lchovlari cheklangan sharoitda ham dastlabki baholashni amalga oshirish imkonini beradi.

Natijalar va muhokama. Tahlil natijasida urbanizatsiyalashgan hududlarda tabiiy ventilyatsiya samaradorligini baholash uchun uch asosiy fizik indikatorni - ACH, WVR va MAAni - shahar morfologiyasi ko‘rsatkichlari bilan birgalikda qo‘llash metodik jihatdan asosli ekanligi ko‘rsatildi. Bunday yondashuv ventilyatsiyani faqat shamol tezligi orqali emas, balki havo almashinuvi va turg‘unlik jarayonlari orqali ham ifodalash imkonini beradi.

Indikatorlarning funksional farqi quyidagicha umumlashtiriladi: ACH - “qancha havo almashmoqda?”, WVR - “tashqi shamolning qancha qismi lokal hududda saqlanmoqda?”, MAA - “havo qanchalik tez yangilanmoqda?” degan savollarga javob beradi. Shu sababli uch indikatorning kombinatsiyasi tabiiy ventilyatsiya samaradorligini diagnostika qilish uchun mantiqiy asos yaratadi.

Farg‘ona va Marg‘ilon shaharlari uchun indikatorlar tizimini amaliy qo‘llashda shamol yo‘nalishlarining mavsumiyligi alohida hisobga olinishi kerak. Bir faslda ventilyatsiya uchun qulay bo‘lgan yo‘nalish boshqa faslda boshqa urbanistik to‘siqlarga duch kelishi mumkin. Shu bois yakuniy xaritalarni yillik o‘rtacha ko‘rsatkichdan tashqari mavsumiy va zarur bo‘lsa sutkalik rejimlar bo‘yicha ham ishlab chiqish maqsadga muvofiq.

Maqolada taklif etilgan metodik tizim kelgusida ko‘p mezonli baholash bilan kengaytirilishi mumkin. Bunda indikatorlarning vaznlari dala kuzatuvlari, CFD natijalari va atmosfera ifloslanishi ma’lumotlari bilan kalibrlanishi lozim. Natijada tabiiy ventilyatsiyaning ekologik samaradorligini ifodalovchi kompleks indeks ishlab chiqish imkoniyati paydo bo‘ladi.

Xulosa. 1. Urbanizatsiyalashgan hududlarda tabiiy ventilyatsiya samaradorligini baholash birgina shamol tezligi bilan cheklanmasdan, havo almashinuvi, shamol oqimining lokal saqlanishi, havoning yangilanish vaqti hamda shahar morfologiyasini birgalikda hisobga olishi kerak.

2. ACH, WVR va MAA tabiiy ventilyatsiyani baholashning o‘zaro to‘ldiruvchi asosiy indikatorlari sifatida tizimlashtirilishi mumkin. ACH havo almashinuvi intensivligini, WVR lokal shamol sharoitini, MAA esa turg‘unlik va yangilanish vaqtini tavsiflaydi.

3. λf, λp, H/W va z_0 ko‘rsatkichlari ventilyatsiya samaradorligining urbanistik sabablarini tushuntirish uchun muhim morfologik parametrlar hisoblanadi. Ularni GIS asosida hisoblash va WVR hamda MAA bilan fazoviy bog‘lash ventilyatsiya salohiyatini zonalashtirishga imkon beradi.

4. GIS, CFD, shamol tunneli va IoT monitoringini birgalikda qo‘llash tabiiy ventilyatsiyani baholashning aniqligi va ishonchliligini oshiradi. Farg‘ona va Marg‘ilon shaharlari uchun ushbu usullar asosida ventilyatsiya koridorlari, shamol soyasi zonalari va turg‘un havo hududlarini aniqlash mumkin.

5. Farg‘ona vodiysi sharoitida indikatorlarning chegaraviy qiymatlarini mahalliy meteorologik va urbanistik sharoitlar asosida tekshirish zarur. Kelgusidagi tadqiqotlarda dala o‘lchovlari va CFD natijalari asosida mahalliy kalibrlangan kompleks ventilyatsiya indeksini ishlab chiqish istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. – Atlanta, GA: ASHRAE, 2019. – 60 p.

2. Awbi H.B. Ventilation of Buildings. 2nd ed. – London: Spon Press, 2003. – 522 p.

3. Etheridge D. Natural Ventilation of Buildings: Theory, Measurement and Design. – Chichester: John Wiley & Sons, 2012. – 446 p.

4. Linden P.F. The fluid mechanics of natural ventilation // Annual Review of Fluid Mechanics. – 1999. – Vol. 31. – Pp. 201–238.

5. Erell E., Pearlmutter D., Williamson T. Urban Microclimate: Designing the Spaces between Buildings. – London: Routledge, 2011. – 304 p.

6. Oke T.R. Boundary Layer Climates. 2nd ed. – London: Methuen, 1987. – 435 p.

7. Oke T.R. Street design and urban canopy layer climate // Energy and Buildings. – 1988. – Vol. 11, No. 1–3. – Pp. 103–113.

8. Oke T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A. Urban Climates. – Cambridge: Cambridge University Press, 2017. – 526 p.

9. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. – New York: United Nations, 2019. – 126 p.

10. UN-Habitat. World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities. – Nairobi: UN-Habitat, 2022. – 386 p.

11. Bernoulli D. Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii. – Strasbourg, 1738.

12. Blocken B. 50 years of Computational Wind Engineering: Past, present and future // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2014. – Vol. 129. – Pp. 69–102.

13. Britter R.E., Hanna S.R. Flow and dispersion in urban areas // Annual Review of Fluid Mechanics. – 2003. – Vol. 35. – Pp. 469–496.

14. Hang J., Sandberg M., Li Y. Effect of urban morphology on wind condition in idealized city models // Atmospheric Environment. – 2009. – Vol. 43, No. 4. – Pp. 869–878.

15. Lai D., Liu W., Gan T., Liu K., Chen Q. A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces // Science of the Total Environment. – 2019. – Vol. 661. – Pp. 337–353.

16. Ng E. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong // Building and Environment. – 2009. – Vol. 44, No. 7. – Pp. 1478–1488.

17. Bady M., Kato S., Huang H. Towards the application of indoor ventilation efficiency indices to evaluate the air quality of urban areas // Building and Environment. – 2008. – Vol. 43, No. 12. – Pp. 1991–2004.

18. Grimmond C.S.B., Oke T.R. Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form // Journal of Applied Meteorology. – 1999. – Vol. 38, No. 9. – Pp. 1262–1292.

19. Burian S.J., Brown M.J., Linger S.P. Morphological Analyses Using 3D Building Databases: Los Angeles, California. – Los Alamos National Laboratory Report, 2002. – 75 p.

20. Macdonald R.W., Griffiths R.F., Hall D.J. An improved method for the estimation of surface roughness of obstacle arrays // Atmospheric Environment. – 1998. – Vol. 32, No. 11. – Pp. 1857–1864.

21. Yoshie R., Mochida A., Tominaga Y., Kataoka H., Harimoto K., Nozu T., Shirasawa T. Cooperative project for CFD prediction of pedestrian wind environment in the Architectural Institute of Japan // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2007. – Vol. 95, No. 9–11. – Pp. 1551–1578.

22. Yuan C., Ng E. Building porosity for better urban ventilation in high-density cities – a computational parametric study // Building and Environment. – 2012. – Vol. 50. – Pp. 176–189.